

CT 120003

Synthèse de cinq années d'expérimentation combinée "traitements et fumures" sur cotonnier au Bénin

A. JOLY *

RÉSUMÉ

Le bilan des trente cinq essais combinés « traitements x fumures » réalisés sur cotonnier au Bénin met en évidence une variabilité importante de la réponse aux deux interventions conjuguées de fertilisation minérale et de traitement insecticide, selon les différentes zones écologiques. On observe, en moyenne, un effet quadratique de la fumure minérale dans le Nord et le Centre, alors que dans le Sud la réponse est linéaire et très forte. Les traitements insecticides ont partout une action linéaire, mais avec une pente nettement plus accentuée dans la zone Centre.

Une interaction « traitements x fumures » se manifeste également dans le Centre et le Sud, alors qu'elle n'apparaît pas dans le Nord.

L'étude de l'évolution des courbes de réponse au cours d'une rotation, dans le Sud, indique que le redressement de la fertilité chimique des « terres de barre » est un préliminaire indispensable à la valorisation de la protection phytosanitaire.

Dans ces essais, les pertes de récolte dues au parasitisme augmentent en fonction du potentiel de production et leur taux moyen est nettement plus élevé dans la zone Centre.

Mots clé : fertilisation du sol, traitement insecticide, interaction, Bénin, méthodologie, statistique, cotonnier, perte de rendement, parasitisme.

INTRODUCTION

Les traitements insecticides et la fertilisation minérale constituent deux facteurs essentiels d'intensification de la culture cotonnière, et l'on sait que leur mise en œuvre est rarement dissociable. Cependant, une fois les meilleures techniques de protection et de fertilisation mises au point séparément, il est plus difficile d'apprécier l'influence relative de chacune de ces interventions, leur éventuelle interaction et leur combinaison optimale pour la vulgarisation.

En effet, la forme des courbes de réponse à ces deux améliorations combinées va être fortement influencée par les conditions de milieu (climat, sol, parasitisme). Or, les investissements impliqués par la fertilisation et les traitements insecticides étant élevés, il importe de pouvoir optimiser régionalement le niveau d'intensification conjuguée de ces deux facteurs de production, afin de proposer à la vulgarisation des recommandations réalistes, tant au plan technique qu'au plan économique.

Dans ce but, un important programme d'essais combinés « traitements x fumures » a été réalisé au Bénin; de 1968 à 1972, trente-cinq essais de ce type ont été effectués sur l'ensemble du réseau expérimental de l'I.R.C.T.

Le Bénin est caractérisé par une grande variabilité des facteurs écologiques du Nord au Sud, et constitue un champ d'expérience intéressant, d'autant que la culture cotonnière y a pris un développement important.

Les résultats complets de ces essais ont été publiés dans les rapports annuels de l'I.R.C.T. (1) et une synthèse partielle fut faite en 1970 par SOUBRIER et TANGUY (2) sur les résultats de 1968 et 1969. Le but de cette note n'est pas de reprendre l'étude détaillée de ces essais, mais d'essayer de dresser un bilan à grande échelle mettant en lumière l'incidence de l'écologie sur la réponse technique aux opérations combinées de traitement insecticide et de fertilisation minérale.

* Agronome I.R.C.T., Centre de recherches du G.E.R.D.A.T., B.P. 5035, Montpellier, France.

MÉTHODOLOGIE

Si l'on considère la culture cotonnière, le Bénin peut être découpé en trois grandes zones écologiques :

- zone Nord (= région Nord-Borgou) : une seule saison des pluies concentrée de juin à octobre, sols ferrugineux fortement déficients en P, parasitisme à base de *Diparopsis watersi* et *Heliothis armigera*, bon ensoleillement, potentiel de production élevé, cycle végétatif court ;
- zone Centre (= Sud-Borgou + Zou Nord) : une seule saison des pluies longue (avril-octobre), sols ferrugineux déficients en N, P et parfois K, poly-parasitisme tardif mais intense à base de *Diparopsis watersi* et *Cryptophlebia leucotreta*, ensoleillement médiocre en août-septembre, faible volume de floraison, forts développements végétatifs, cycle végétatif long ;
- zone Sud (= Zou Sud, Mono, Atlantique, Ouémé) : deux saisons des pluies séparées par une petite saison sèche en août, « terres de barre » (sols ferrallitiques sur Continental terminal) souvent très dégradées, carencées en K, polyparasitisme dominé par *Cryptophlebia leucotreta*, *Diparopsis watersi*, cycle végétatif long, pluviométrie de deuxième saison capricieuse, forts développements végétatifs en cas d'alimentation minérale et hydrique satisfaisante, production soumise à de nombreux aléas.

Le principe de ces essais combinés, proposé au départ par DELATRE en El Salvador (3), a été développé et affiné sur le plan méthodologique au Tchad et au Bénin (6, 1 et 2).

Au Bénin, les dispositifs expérimentaux ont évolué depuis l'essai sans répétition, avec 3 objets principaux « traitements » subdivisés en 3 sous-objets « fumures », jusqu'à des factoriels en blocs ou de véritables split-plot.

Le problème, pour limiter les interactions entre les différents niveaux de protection phytosanitaire, est d'avoir des parcelles suffisamment grandes, ou de regrouper les parcelles d'un même niveau de protection, afin d'obtenir un « effet de masse » suffisant vis-à-vis des insectes, pour ne pas trop biaiser l'estimation des rendements relatifs aux différents niveaux de protection.

Cette nécessité, inhérente aux essais entomologiques, a finalement conduit à adopter, dans les derniers essais, une solution qui a paru acceptable. Il s'agit d'un dispositif en split-plot où les traitements insecticides sont placés en parcelles principales de 12 à 15 lignes de 30 mètres, et les fumures en sous-parcelles de 4 à 5 lignes. Mais, de plus, pour répondre aux contraintes biologiques de ces essais, on a procédé à une répartition non aléatoire des parcelles principales « traitements », afin de grouper le plus possible les parcelles traitées de la même façon, de placer dans la zone centrale du dispositif les parcelles sous protection phytosanitaire poussée et à la périphérie les parcelles non traitées. Cela implique, en contre-partie, que de tels essais soient implantés

sur des terrains très homogènes, sans gradient de fertilité, et qu'ils ne soient pas entourés d'essais surprotégés qui formeraient alors un écran face aux infestations de ravageurs venus de l'extérieur.

Un tel plan d'essai est illustré par l'exemple suivant :

Bloc II			Bloc IV			Bloc VI		
T ₁	F ₃ F ₂ F ₁		T ₁	F ₁ F ₂ F ₃		T ₁	F ₃ F ₂ F ₁	
T ₂	F ₃ F ₂ F ₁		T ₂	F ₃ F ₂ F ₁		T ₂	F ₃ F ₂ F ₁	
T ₃	F ₁ F ₂ F ₃		T ₃	F ₁ F ₂ F ₃		T ₃	F ₃ F ₂ F ₁	
T ₄	F ₁ F ₂ F ₃		T ₄	F ₁ F ₂ F ₃		T ₄	F ₁ F ₂ F ₃	
T ₅	F ₂ F ₁ F ₃		T ₅	F ₂ F ₁ F ₃		T ₅	F ₂ F ₁ F ₃	
T ₆	F ₂ F ₁ F ₃		T ₆	F ₂ F ₁ F ₃		T ₆	F ₂ F ₁ F ₃	
T ₇	F ₃ F ₁ F ₂		T ₇	F ₃ F ₁ F ₂		T ₇	F ₃ F ₁ F ₂	
T ₈	F ₃ F ₁ F ₂		T ₈	F ₃ F ₁ F ₂		T ₈	F ₃ F ₁ F ₂	
T ₉	F ₁ F ₃ F ₂		T ₉	F ₁ F ₃ F ₂		T ₉	F ₁ F ₃ F ₂	
T ₁₀	F ₁ F ₃ F ₂		T ₁₀	F ₁ F ₃ F ₂		T ₁₀	F ₁ F ₃ F ₂	
T ₁₁	F ₂ F ₃ F ₁		T ₁₁	F ₂ F ₃ F ₁		T ₁₁	F ₂ F ₃ F ₁	
T ₁₂	F ₂ F ₃ F ₁		T ₁₂	F ₂ F ₃ F ₁		T ₁₂	F ₂ F ₃ F ₁	
T ₁₃	F ₃ F ₂ F ₁		T ₁₃	F ₃ F ₂ F ₁		T ₁₃	F ₃ F ₂ F ₁	
T ₁₄	F ₃ F ₂ F ₁		T ₁₄	F ₃ F ₂ F ₁		T ₁₄	F ₃ F ₂ F ₁	
T ₁₅	F ₁ F ₂ F ₃		T ₁₅	F ₁ F ₂ F ₃		T ₁₅	F ₁ F ₂ F ₃	
T ₁₆	F ₁ F ₂ F ₃		T ₁₆	F ₁ F ₂ F ₃		T ₁₆	F ₁ F ₂ F ₃	
T ₁₇	F ₂ F ₁ F ₃		T ₁₇	F ₂ F ₁ F ₃		T ₁₇	F ₂ F ₁ F ₃	
T ₁₈	F ₂ F ₁ F ₃		T ₁₈	F ₂ F ₁ F ₃		T ₁₈	F ₂ F ₁ F ₃	
T ₁₉	F ₃ F ₁ F ₂		T ₁₉	F ₃ F ₁ F ₂		T ₁₉	F ₃ F ₁ F ₂	
T ₂₀	F ₃ F ₁ F ₂		T ₂₀	F ₃ F ₁ F ₂		T ₂₀	F ₃ F ₁ F ₂	
T ₂₁	F ₁ F ₃ F ₂		T ₂₁	F ₁ F ₃ F ₂		T ₂₁	F ₁ F ₃ F ₂	
T ₂₂	F ₁ F ₃ F ₂		T ₂₂	F ₁ F ₃ F ₂		T ₂₂	F ₁ F ₃ F ₂	
T ₂₃	F ₂ F ₃ F ₁		T ₂₃	F ₂ F ₃ F ₁		T ₂₃	F ₂ F ₃ F ₁	
T ₂₄	F ₂ F ₃ F ₁		T ₂₄	F ₂ F ₃ F ₁		T ₂₄	F ₂ F ₃ F ₁	
T ₂₅	F ₃ F ₂ F ₁		T ₂₅	F ₃ F ₂ F ₁		T ₂₅	F ₃ F ₂ F ₁	
T ₂₆	F ₃ F ₂ F ₁		T ₂₆	F ₃ F ₂ F ₁		T ₂₆	F ₃ F ₂ F ₁	
T ₂₇	F ₁ F ₂ F ₃		T ₂₇	F ₁ F ₂ F ₃		T ₂₇	F ₁ F ₂ F ₃	
T ₂₈	F ₁ F ₂ F ₃		T ₂₈	F ₁ F ₂ F ₃		T ₂₈	F ₁ F ₂ F ₃	
T ₂₉	F ₂ F ₁ F ₃		T ₂₉	F ₂ F ₁ F ₃		T ₂₉	F ₂ F ₁ F ₃	
T ₃₀	F ₂ F ₁ F ₃		T ₃₀	F ₂ F ₁ F ₃		T ₃₀	F ₂ F ₁ F ₃	
T ₃₁	F ₃ F ₁ F ₂		T ₃₁	F ₃ F ₁ F ₂		T ₃₁	F ₃ F ₁ F ₂	
T ₃₂	F ₃ F ₁ F ₂		T ₃₂	F ₃ F ₁ F ₂		T ₃₂	F ₃ F ₁ F ₂	
T ₃₃	F ₁ F ₃ F ₂		T ₃₃	F ₁ F ₃ F ₂		T ₃₃	F ₁ F ₃ F ₂	
T ₃₄	F ₁ F ₃ F ₂		T ₃₄	F ₁ F ₃ F ₂		T ₃₄	F ₁ F ₃ F ₂	
T ₃₅	F ₂ F ₃ F ₁		T ₃₅	F ₂ F ₃ F ₁		T ₃₅	F ₂ F ₃ F ₁	
T ₃₆	F ₂ F ₃ F ₁		T ₃₆	F ₂ F ₃ F ₁		T ₃₆	F ₂ F ₃ F ₁	
T ₃₇	F ₃ F ₂ F ₁		T ₃₇	F ₃ F ₂ F ₁		T ₃₇	F ₃ F ₂ F ₁	
T ₃₈	F ₃ F ₂ F ₁		T ₃₈	F ₃ F ₂ F ₁		T ₃₈	F ₃ F ₂ F ₁	
T ₃₉	F ₁ F ₂ F ₃		T ₃₉	F ₁ F ₂ F ₃		T ₃₉	F ₁ F ₂ F ₃	
T ₄₀	F ₁ F ₂ F ₃		T ₄₀	F ₁ F ₂ F ₃		T ₄₀	F ₁ F ₂ F ₃	
T ₄₁	F ₂ F ₁ F ₃		T ₄₁	F ₂ F ₁ F ₃		T ₄₁	F ₂ F ₁ F ₃	
T ₄₂	F ₂ F ₁ F ₃		T ₄₂	F ₂ F ₁ F ₃		T ₄₂	F ₂ F ₁ F ₃	
T ₄₃	F ₃ F ₁ F ₂		T ₄₃	F ₃ F ₁ F ₂		T ₄₃	F ₃ F ₁ F ₂	
T ₄₄	F ₃ F ₁ F ₂		T ₄₄	F ₃ F ₁ F ₂		T ₄₄	F ₃ F ₁ F ₂	
T ₄₅	F ₁ F ₃ F ₂		T ₄₅	F ₁ F ₃ F ₂		T ₄₅	F ₁ F ₃ F ₂	
T ₄₆	F ₁ F ₃ F ₂		T ₄₆	F ₁ F ₃ F ₂		T ₄₆	F ₁ F ₃ F ₂	
T ₄₇	F ₂ F ₃ F ₁		T ₄₇	F ₂ F ₃ F ₁		T ₄₇	F ₂ F ₃ F ₁	
T ₄₈	F ₂ F ₃ F ₁		T ₄₈	F ₂ F ₃ F ₁		T ₄₈	F ₂ F ₃ F ₁	
T ₄₉	F ₃ F ₂ F ₁		T ₄₉	F ₃ F ₂ F ₁		T ₄₉	F ₃ F ₂ F ₁	
T ₅₀	F ₃ F ₂ F ₁		T ₅₀	F ₃ F ₂ F ₁		T ₅₀	F ₃ F ₂ F ₁	

Le fait que dans les 35 essais combinés, les dispositifs, les emplacements, le nombre d'essais par an et les objets en comparaison aient quelque peu varié tout au long de l'expérimentation, ne permet pas de faire une analyse complète et rigoureuse des données parcellaires.

Néanmoins, il est possible de faire la synthèse de ces résultats, moyennant un certain nombre de simplifications. Tout d'abord, devant la diversité des dispositifs, nous n'avons utilisé que les rendements moyens obtenus sur chaque essai. Ensuite, nous avons effectué un regroupement des essais en trois séries, conformément à la zonation écologique définie ci-dessus. À l'intérieur de chacune de ces trois zones (Nord, Centre et Sud), nous avons considéré que nous avions affaire à un essai en blocs dispersés, avec subdivision de parcelles, chaque bloc correspondant en fait à un emplacement, c'est-à-dire à une combinaison année × lieu, et nous avons effectué une analyse globale simplifiée en split-plot de chaque série. Le nombre d'essais par série étant assez élevé (10 à 14), on peut admettre que cette analyse simplifiée n'entraîne pas une perte de précision importante par rapport à celle que l'on aurait dû obtenir avec l'analyse complète des rendements parcellaires.

En ce qui concerne les objets en comparaison, le facteur principal « traitements » était partout à 3 niveaux, de même que le facteur subsidiaire « fumure », mais le nombre de traitements, les doses et les compositions des fumures ont varié. Cependant, qualitativement, l'idée directrice dans ces essais est toujours restée la même, à savoir : obtenir des

courbes de réponse en encadrant un niveau standard correspondant aux préconisations vulgarisables par un niveau faible ou nul et par un niveau technique fort représentant au moins le double du niveau standard. Les variations de ces deux facteurs sont de toute façon restées assez limitées, leur but étant de les adapter aux durées de cycle et aux niveaux de parasitisme et de fertilité, propres aux différentes situations écologiques. L'espacement des niveaux sera considéré comme régulier, au moins pour l'aspect qualitatif qui nous préoccupe.

Finalement, nous considérerons que, pour chaque zone, nous avons une expérience factorielle à trois facteurs, dont deux facteurs fixes (traitements et fertilisation), et un facteur aléatoire (essai). Le facteur fertilisation est subordonné au facteur traitements. Il s'agit donc d'un modèle mixte, avec subdivision de parcelles (split-plot), dont la description est la suivante (4) :

Facteurs principaux :

T (traitements insecticides) ;

F (fertilisation minérale).

Facteur subsidiaire :

E (essai = combinaison année \times lieu).

a) Le facteur T est à 3 niveaux partout :

- T_1 = protection insecticide nulle ou faible : 0 à 3 traitements en période végétative (moyenne : 1 dans le Nord, 1 à 2 dans le Centre et 2 dans le Sud).
- T_2 = protection insecticide moyenne : 5-6 traitements dans le Nord, 6-7 dans le Centre, 7-9 dans le Sud.
- T_3 = protection insecticide poussée : 10-16 traitements dans le Nord, 13-23 dans le Centre, 18-21 dans le Sud.

b) Le facteur F est également à 3 niveaux :

- F_0 = fertilisation minérale nulle.
- F_1 = fertilisation minérale standard avec la « formule coton » définie pour chaque zone écologique (tableau 1).
- F_2 = fertilisation minérale « forte » (tableau 1).

c) Le facteur E comporte :

- 14 niveaux pour la zone Nord (14 essais).
- 11 niveaux pour la zone Centre (11 essais).
- 10 niveaux pour la zone Sud (10 essais).

Tableau 1. — Composition moyenne de la fertilisation minérale appliquée aux niveaux F_1 et F_2 , selon la zone (en unités fertilisantes)

Niveau de fertilisation	Zone	N	S	P_2O_5	K_2O	B_2O_3
F_1 - Fertilisation standard ..	Nord	39 kg/ha	15	41	19	0,6
	Centre	39	21	29	22	0,7
	Sud	33	10	26	60	0,4
F_2 - Fertilisation forte	Nord	97 kg/ha	38	109	45	2,1
	Centre	98	54	77	55	1,8
	Sud	100	30	79	180	1,2

Pour chaque zone, nous présentons successivement les résultats bruts, l'analyse de la variance selon le modèle mixte décrit ci-dessus (4) et l'analyse des courbes de réponse (3) aux traitements et aux fumures par décomposition de l'effet de chacun de ces facteurs en ses composantes polynomiales (linéaire et quadratique) et en faisant l'hypothèse

simplificatrice que les niveaux de chaque facteur sont, au moins qualitativement, espacés régulièrement.

Enfin, nous étudions, dans une expérience pluri-annuelle, l'évolution des courbes de réponse au cours d'une rotation ; puis nous terminons par une évaluation, pour chaque zone, de l'importance des pertes dues au parasitisme, selon le potentiel de production.

RÉSULTATS

Zone Nord

Rendements

Les rendements moyens obtenus dans chacun des

14 essais réalisés dans cette zone figurent au tableau 2 et les résultats moyens de cette expérimentation au tableau 3.

Tableau 2. — Rendements moyens par essai (kg/ha de coton-graine)
en zone Nord

Emplacements		T ₁ (0-2)			T ₂ (5-6)			T ₃ (10-16)			\bar{E}
	Année	F ₀	F ₁	F ₂	F ₀	F ₁	F ₂	F ₀	F ₁	F ₂	
1. Angaradébou	68	428	685	713	661	811	1 069	872	1 163	1 535	882
2. Gomparou	68	1 266	1 585	1 683	1 727	2 043	2 285	1 637	2 426	2 396	1 894
3. Gogonou	68	960	1 163	1 125	1 656	1 624	1 756	1 653	2 053	1 887	1 542
4. Gomparou	69	793	1 094	1 344	982	1 530	1 340	1 366	1 565	1 022	1 226
5. Gogonou	69	859	1 102	571	1 127	1 154	763	1 584	1 556	1 100	1 091
6. Angaradébou	70	1 461	1 886	1 732	1 326	2 397	2 002	1 572	2 397	2 235	1 890
7. Gomparou	70	961	1 888	1 758	1 056	1 986	2 370	1 175	2 296	2 551	1 782
8. Kassakou	70	1 123	1 777	1 951	1 242	2 039	2 059	1 500	2 092	2 171	1 773
9. Angaradébou	71	1 128	1 235	1 300	1 228	1 800	1 723	1 351	1 906	1 681	1 484
10. Gomparou	71	672	1 480	1 719	747	1 669	1 478	651	1 641	1 609	1 296
11. Gogonou	71	646	716	605	931	1 070	1 078	986	1 211	1 241	943
12. Kassakou	71	1 004	1 731	1 767	1 300	1 743	1 938	1 104	1 447	1 890	1 547
13. Angaradébou	72	1 141	1 678	1 719	1 083	1 849	1 890	1 374	1 926	2 058	1 635
14. Gogonou	72	1 091	1 124	1 095	1 448	1 625	1 696	1 380	1 625	1 859	1 438
\bar{M}		967	1 367	1 363	1 180	1 667	1 675	1 300	1 807	1 802	1 459
%		100	141	141	122	172	173	135	187	186	

Tableau 3. — Résultats moyens, zone Nord
(kg/ha de coton-graine)

Traite- ments	F ₀	Fumures F ₁	F ₂	\bar{M}	% T ₁
T ₁	967	1 367	1 363	1 232	100
T ₂	1 180	1 667	1 675	1 507	122
T ₃	1 300	1 807	1 803	1 637	133
\bar{M}	1 149	1 614	1 614		
% F ₀	100	140	140		

Analyse de la variance

Le tableau d'analyse de la variance (tableau 4) montre qu'il n'y a pas d'interaction traitements \times fumures; les variances $T \times F$ et $E \times T \times F$ étant faibles et de même ordre de grandeur peuvent être regroupées pour former l'erreur résiduelle (4).

Par contre, l'interaction $E \times F$ est significative, ce qui veut dire que la fumure n'agit pas de la même façon dans tous les essais.

Il y a aussi des différences entre les emplacements, mais les traitements et les fumures ont globalement une action significative.

Tableau 4. — *Analyse de la variance des résultats de la zone Nord*

	Degrés de liberté	Variance	F/ET	F/EF	F/ETF	F/TF + ETF
Emplacements ..	13	997 402	19,8 **			
Traitements	2	1 791 008	35,6 **			
E × T	26	50 283				
Fumures	2	3 025 293		21,99 **	162,90 **	164,68 **
E × F	26	137 562			7,41 **	7,49 **
T × F	4	15 759			< 1	
E × T × F	52	18 572				
Total	125					

* Significatif à P = 0,05.

** Significatif à P = 0,01.

Etude des courbes de réponse

L'analyse des composantes linéaires et quadratiques(3) des courbes de réponse à la fumure pour chaque niveau de traitement montre que les composantes linéaires et quadratiques sont partout significatives. La réponse est linéaire avec une forte pente dans un premier temps, puis quel que soit le niveau des traitements, à partir du niveau de fumure F₁, le renforcement de la fertilisation n'apporte plus aucun accroissement de rendement (fig. 1 a).

A l'inverse, seules les composantes linéaires des courbes de réponse aux traitements sont significatives, quel que soit le niveau de fumure. A noter, cependant, une composante quadratique à la limite de la signification au niveau des fortes fumures (fig. 1 b).

Les résultats de cette analyse sont résumés dans le tableau 5.

Tableau 5. — *Analyse des composantes linéaires et quadratiques des courbes de réponse aux fumures et aux traitements dans la zone Nord*

	Composantes linéaires			Composantes quadratiques		
	Composantes/moyennes	F	Coefficient B ₁	Composantes/moyennes	F	Coefficient B ₂
Courbes fumures						
Niveau T ₁	+ 396	19,6 **	+ 198	— 404	6,8 *	— 67
Niveau T ₂	+ 495	30,5 **	+ 247	— 479	9,5 **	— 80
Niveau T ₃	+ 503	31,4 **	+ 251	— 511	10,9 **	— 85
Courbes traitements						
Niveau F ₀	+ 334	13,9 **	+ 167	— 92	1,1	— 15
Niveau F ₁	+ 440	24,1 **	+ 220	— 159	3,1	— 26
Niveau F ₂	+ 439	24,0 **	+ 219	— 184	4,2 *	— 31

Zone Centre

Rendements

Les rendements moyens obtenus dans chacun des

11 essais réalisés dans cette zone figurent au tableau 6 et les résultats moyens de cette expérimentation au tableau 7.

Tableau 6. — Rendements moyens par essai (kg/ha de coton-graine)
en zone Centre

Emplacements		T ₁ (0-3)			T ₂ (6-7)			T ₃ (13-23)			E
Année		F ₀	F ₁	F ₂	F ₀	F ₁	F ₂	F ₀	F ₁	F ₂	
1. Alafiarou	69	804	745	593	1 051	1 321	803	402	1 602	1 546	1 093
2. Gobé	69	536	708	756	971	1 554	1 379	1 345	1 838	2 082	1 241
3. Savalou	69	355	547	441	848	1 110	1 331	1 051	1 429	1 895	1 001
4. Tamarou	70	468	533	424	899	955	850	1 050	1 351	1 296	870
5. Gobé	70	548	1 359	1 075	858	1 701	1 257	1 048	1 871	1 672	1 265
6. Savalou	70	722	935	854	850	1 010	1 205	862	1 027	1 172	960
7. Atokoligbé	70	1 276	1 642	1 582	1 353	1 601	1 681	1 501	1 893	1 909	1 604
8. Alafiarou	71	626	744	720	1 073	1 244	1 361	975	1 389	1 528	1 073
9. Gobé	71	305	472	362	727	1 104	908	978	1 532	1 471	873
10. Savalou	71	559	837	984	676	1 002	1 198	865	1 214	1 459	977
11. Gobé	72	589	1 182	1 282	772	1 513	1 836	1 033	1 968	2 434	1 401
\bar{M}		617	882	825	916	1 283	1 255	1 101	1 556	1 679	1 123
%		100	143	134	148	209	203	178	252	272	

Tableau 7. — Résultats moyens zone Centre
(kg/ha de coton-graine)

Traite- ments	F ₀	Fumures F ₁	F ₂	\bar{M}	% T ₁
T ₁	617	882	825	775	100
T ₂	916	1 283	1 255	1 151	149
T ₃	1 101	1 556	1 679	1 445	186
\bar{M}	878	1 240	1 253		
% F ₀	100	141	143		

Analyse de la variance

Le tableau d'analyse de la variance des rendements (tableau 8) montre que les effets principaux et leurs interactions sont tous significatifs dans cette

région. On notera en particulier l'interaction significative entre les traitements et les fumures.

Tableau 8. — *Analyse de la variance des résultats de la zone Centre*

	Degrés de liberté	Variance	F/ET	F/EF	F/ETF
Emplacements	10	482 301	6,24 **		
Traitements	2	3 726 193	48,20 **		
E × T	20	77 312			
Fumures	2	1 496 001		16,89 **	200,99 **
E × F	20	88 574			11,90 **
T × F	4	93 031			13,17 **
E × T × F	40	7 443			
Total	98				

Etude des courbes de réponse

Les résultats de cette analyse sont donnés au tableau 9.

Comme dans la zone Nord, les composantes linéaires et quadratiques des courbes de réponse à la fumure sont significatives à tous les niveaux de traitement. La réponse est linéaire aux faibles doses, puis elle s'infléchit. A noter que la pente dans la partie linéaire s'accroît fortement avec l'intensification des traitements (interaction traitements × fumures).

En ce qui concerne les courbes de réponse aux traitements, seules les composantes linéaires sont significatives, quel que soit le niveau de fumure; à noter également que les pentes des droites sont beaucoup plus fortes que dans les deux autres régions, et qu'elles s'accroissent avec l'accroissement de la fertilisation (fig. 1 b).

Tableau 9. — *Analyse des composantes linéaires et quadratiques des courbes de réponse aux fumures et aux traitements dans la zone Centre*

	Composantes linéaires			Composantes quadratiques		
	Composantes/moyennes	F	Coefficient B ₁	Composantes/moyennes	F	Coefficient B ₂
Courbes fumures						
Niveau T ₁	+ 208	5,25 *	+ 104	— 322	4,22 *	— 54
Niveau T ₂	+ 339	14,00 **	+ 169	— 395	6,32 *	— 66
Niveau T ₃	+ 578	40,62 **	+ 289	— 332	4,47 *	— 55
Courbes traitements						
Niveau F ₀	+ 484	28,49 **	+ 242	— 114	< 1	— 19
Niveau F ₁	+ 674	55,23 **	+ 337	— 128	< 1	— 21
Niveau F ₂	+ 854	177,44 **	+ 427	— 6	< 1	— 1

Zone Sud

Rendements

Les rendements moyens obtenus dans chacun des

10 essais réalisés dans cette zone figurent au tableau 10, et les résultats moyens de cette expérimentation au tableau 11.

Tableau 10. — Rendements moyens par essai (kg/ha de coton-graine)
en zone Sud

Emplacements		T ₁ (0-2)			T ₂ (7-9)			T ₃ (18-21)			E
	Année	F ₀	F ₁	F ₂	F ₀	F ₁	F ₂	F ₀	F ₁	F ₂	
1. Cové	68	390	650	1 090	562	736	1 459	533	656	1 650	858
2. Cové	69	212	681	848	369	999	1 665	548	1 243	2 154	969
3. Aplahoué	69	338	609	555	539	886	1 130	731	1 121	1 300	801
4. Agonvy	69	1 021	1 346	1 296	1 171	1 366	1 521	1 168	1 607	1 754	1 361
5. Sékou	69	557	973	1 038	704	911	1 144	1 136	1 065	1 358	987
6. Kétou	69	393	756	1 036	282	1 257	1 553	644	1 388	1 800	1 012
7. Cové	70	168	880	1 579	308	1 154	2 014	368	1 662	2 563	1 188
8. Aplahoué	70	440	1 136	1 327	612	1 164	1 710	462	1 162	1 728	1 032
9. Agonvy	70	909	1 413	1 608	869	1 271	1 870	686	1 385	1 840	1 318
10. Sékou	70	909	1 106	1 225	817	1 038	1 225	1 037	1 223	1 228	1 090
\bar{M}		534	955	1 160	623	1 078	1 529	731	1 251	1 738	1 067
%		100	179	217	117	202	287	137	234	326	

Tableau 11. — Rendements moyens zone Sud
(kg/ha de coton-graine)

Traite- ments	F ₀	Fumures F ₁	F ₂	\bar{M}	% T ₁
T ₁	534	955	1 160	883	100
T ₂	623	1 078	1 529	1 077	122
T ₃	731	1 251	1 738	1 240	140
\bar{M}	629	1 095	1 476		
% F ₀	100	174	235		

Analyse de la variance

Les résultats de l'analyse de la variance des rendements figurent au tableau 12.

Bien que les différences entre emplacements subsistent, les essais réalisés dans cette zone sont un peu plus homogènes (F plus faible).

La fumure a un très fort effet, et les traitements ont également une action significative à $P = 0,01$, mais toutes les interactions sont significatives.

Tableau 12. — *Analyse de la variance des résultats de la zone Sud*

	Degrés de liberté	Variance	F/ET	F/EF	F/ETF
Emplacements	9	297 753	5,51 **		
Traitements	2	959 861	17,77 **		
E × T	18	54 014			
Fumures	2	5 384 325		30,77 **	363,58 **
E × F	18	174 998			11,82 **
T × F	4	108 414			7,32 **
E × T × F	36	14 809			
Total	89				

Etude des courbes de réponse

Les résultats de cette analyse sont résumés dans le tableau 13.

Contrairement à ce qui s'observe dans le Nord et le Centre, la fumure a ici un effet linéaire très fort dont la pente s'accroît d'ailleurs avec l'intensification des traitements, et aucune composante quadratique n'est significative.

En ce qui concerne les traitements, on observe une

réponse linéaire à partir du niveau de fumure F_1 . Par contre au niveau F_0 , les traitements ont une action faible et non significative sur les rendements qui se trouvent bloqués par la fertilité naturelle très basse.

La fertilisation minérale permet ensuite un spectaculaire redressement des réponses aux traitements et, au niveau F_2 , le coefficient B_1 atteint une valeur comparable à celle observée dans le Nord. Aucune composante quadratique n'est significative.

Tableau 13. — *Analyse des composantes linéaires et quadratiques des courbes de réponse aux fumures et aux traitements dans la zone Sud*

	Composantes linéaires			Composantes quadratiques		
	Composantes/moyennes	F	Coefficient B_1	Composantes/moyennes	F	Coefficient B_2
Courbes fumures						
Niveau T_1	+ 626	30,35 **	+ 313	— 216	1,20	— 36
Niveau T_2	+ 906	63,45 **	+ 453	— 4	< 1	— 0,7
Niveau T_3	+ 1 007	70,29 **	+ 503	— 34	< 1	— 5,7
Courbes traitements						
Niveau F_0	+ 197	3,02 **	+ 98	+ 19	< 1	+ 3
Niveau F_1	+ 296	6,79 *	+ 148	+ 50	< 1	+ 8
Niveau F_2	+ 578	25,77 **	+ 289	— 160	< 1	— 27

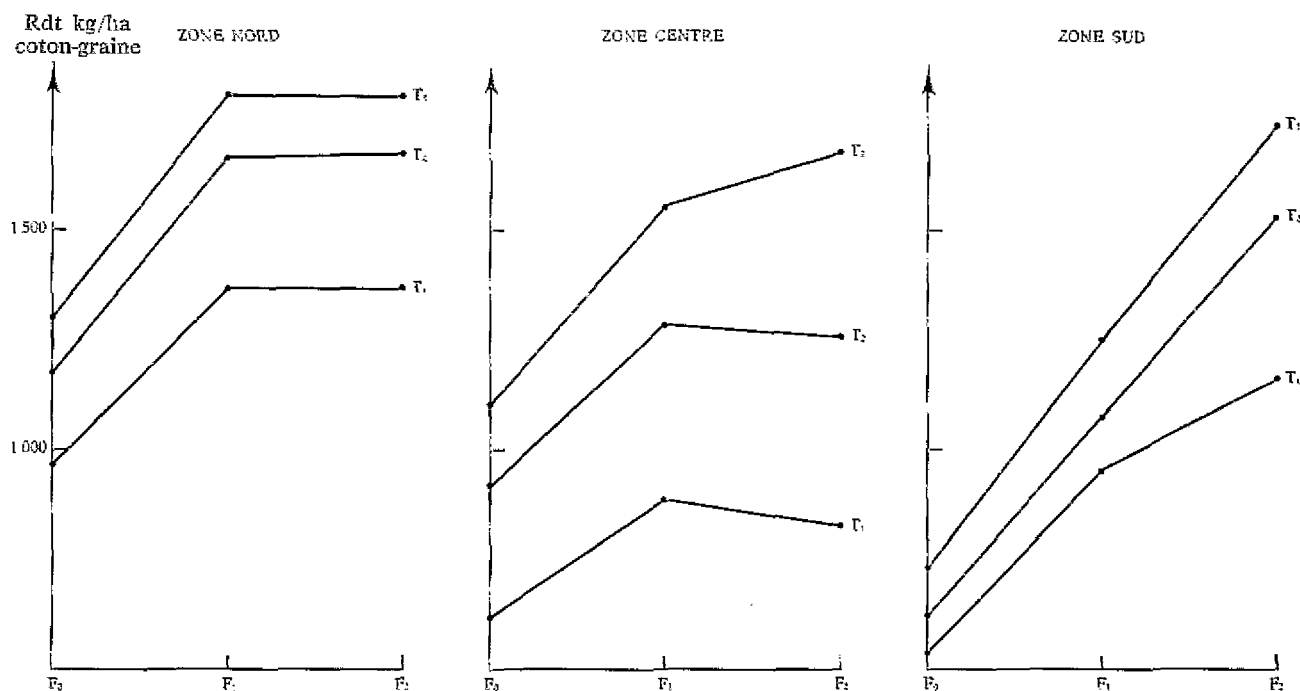


Fig. 1 a. — Essais combinés traitements \times fumures (Bénin 1968-1972). Effet de la fumure selon le niveau de traitement et la zone écologique.

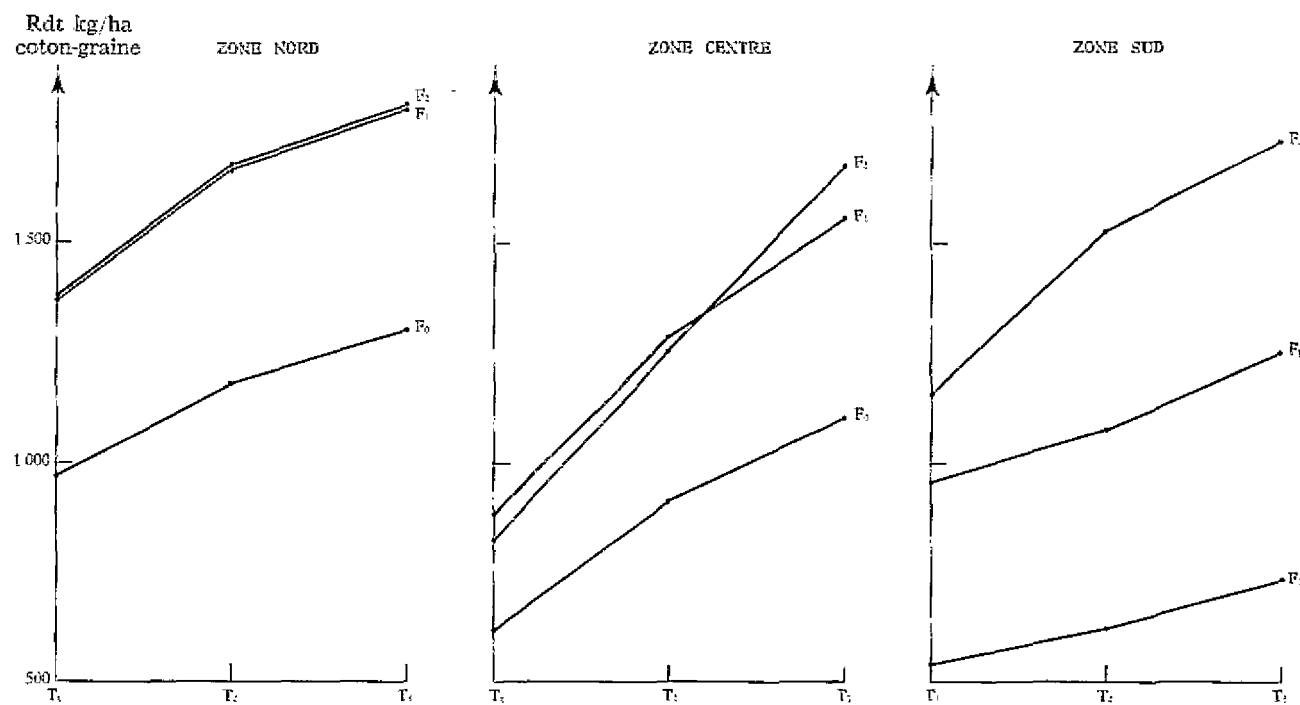


Fig. 1 b. — Essais combinés traitements \times fumures (Bénin 1968-1972). Effet des traitements selon le niveau de fumure et la zone écologique.

ÉVOLUTION DES COURBES DE RÉPONSE AU COURS D'UNE ROTATION DANS LA ZONE SUD

L'essai de Cové, mis en place en 1968 sur défrichement, a été suivi pendant deux autres années sous double culture maïs-coton, le maïs étant semé en 1^{re} saison des pluies, le cotonnier en 2^e saison, avec apport différentiel d'engrais chaque année sur cotonnier.

Le dispositif était un split-plot à 3 répétitions, implanté sur « terre de barre ». Les rendements moyens figurent au tableau 14 et l'analyse des courbes de réponse au tableau 15.

Tableau 14. — Résultats de l'essai pérenne de Cové (kg/ha de coton-graine)

		1968		1969		1970	
T ₁	F ₀	390		212		168	
	F ₁	650	710	681	580	880	876
	F ₂	1 090		848		1 579	
T ₂	F ₀	562		369		308	
	F ₁	736	919	999	1 011	1 154	1 159
	F ₂	1 459		1 665		2 014	
T ₃	F ₀	533		548		368	
	F ₁	656	946	1 245	1 313	1 662	1 531
	F ₂	1 650		2 145		2 563	
Effet traitements ..		S.		H.S.		H.S.	
Effet fumures		H.S.		H.S.		H.S.	
T × F		S.		H.S.		H.S.	

Tableau 15. — Analyse des composantes linéaires et quadratiques des courbes de réponse à Cové, de 1968 à 1970

Composantes linéaires					Composantes quadratiques		
Composantes/moyennes		F	Coefficient B ₁		Composantes/moyennes	F	Coefficient B ₂
Courbes traitements							
1968	Niveau F ₀ ..	— 57	< 1	— 28	— 401	*	— 67
	Niveau F ₁ ..	+ 6	< 1	+ 3	— 166	< 1	— 28
	Niveau F ₂ ..	+ 560	**	+ 280	— 178	< 1	— 30
1969	Niveau F ₀ ..	+ 336	13,22 **	+ 168	+ 22	< 1	+ 4
	Niveau F ₁ ..	+ 564	37,25 **	+ 282	— 72	< 1	— 12
	Niveau F ₂ ..	+ 1 297	196,98 **	+ 648	— 337	4,43	— 56
1970	Niveau F ₀ ..	+ 200	6,72 *	+ 100	— 80	< 1	— 13
	Niveau F ₁ ..	+ 782	102,74 **	+ 391	— 234	3,07	+ 39
	Niveau F ₂ ..	+ 984	162,68 **	+ 492	+ 114	< 1	+ 19
Courbes fumures							
1968	Niveau T ₁ ..	— 700	**	+ 350	+ 180	< 1	+ 30
	Niveau T ₂ ..	+ 897	**	+ 448	+ 549	*	+ 91
	Niveau T ₃ ..	+ 317	**	+ 658	+ 671	*	+ 112
1969	Niveau T ₁ ..	+ 636	47,36 **	+ 318	— 302	3,56	— 50
	Niveau T ₂ ..	+ 1 296	196,68 **	+ 648	+ 36	< 1	+ 6
	Niveau T ₃ ..	+ 1 597	298,64 **	+ 798	+ 203	1,61	+ 34
1970	Niveau T ₁ ..	+ 1 411	34,50 **	+ 705	— 13	< 1	— 2
	Niveau T ₂ ..	+ 1 706	488,98 **	+ 853	+ 14	< 1	2
	Niveau T ₃ ..	+ 2 195	809,48 **	+ 1 097	— 393	8,65 **	— 65

La fertilité initiale était très basse à Cové, par suite d'une forte déficience en K_2O . Dans ces conditions, les traitements insecticides n'apportent pas de supplément de récolte intéressant tant que la nutrition potassique n'est pas améliorée (on a même un effet quadratique des traitements en 1968, au niveau F_0). Sans engrais, les rendements ne cessent de baisser au cours des trois années, alors qu'aux niveaux F_1 et F_2 , on assiste à une restauration progressive de la fertilité chimique: les courbes de réponse à la fumure sont toujours linéaires avec de fortes pentes (on a même un effet quadratique positif en 1968) et la pente s'accroît au fur et à mesure de la correction de la déficience potassique (fig. 2 a). Une composante quadratique négative se dessine cependant au niveau T_3 en troisième année.

La réponse aux traitements faible ou nulle en 1968, devient linéaire à partir de 1969 et la pente se stabilise. L'interaction traitements \times fumures est toujours significative (fig. 2 b).

Il y a donc intérêt dans cette région à appliquer une forte fertilisation minérale les premières années, associée à une protection insecticide moyenne, afin de lever le facteur limitant essentiel que constitue la déficience potassique, quitte à réduire ultérieurement les doses d'engrais. Dans une telle situation, la « fertilité potentielle »* est donc assez élevée, puisque l'on peut atteindre des rendements de l'ordre de 2 500 kg/ha de coton-graine, mais elle nécessite, pour être atteinte, des investissements coûteux.

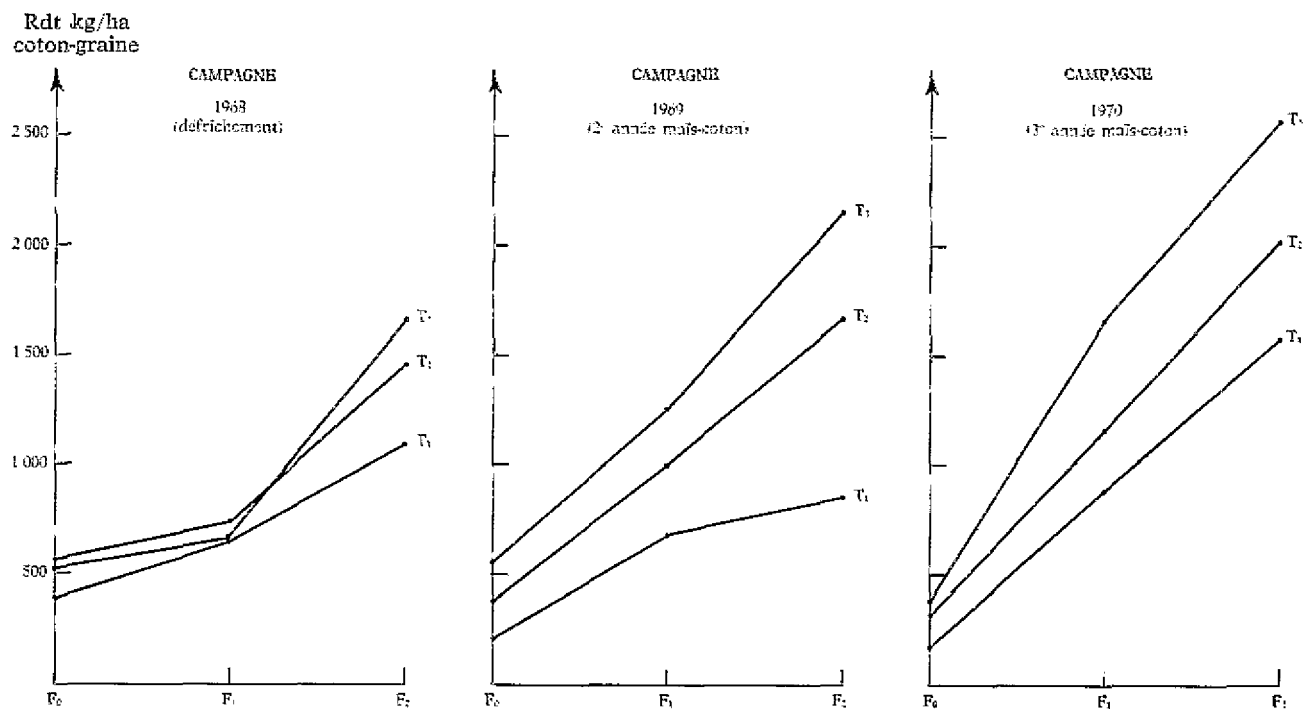


Fig. 2 a. — Essai combiné traitements \times fumures (Cové 1968-1970): évolution de l'effet de la fumure selon le niveau des traitements, au cours d'une rotation.

* « Fertilité potentielle »: production maximale techniquement accessible dans une situation écologique donnée, après correction des facteurs limitants éventuels sur lesquels l'agriculteur peut agir.

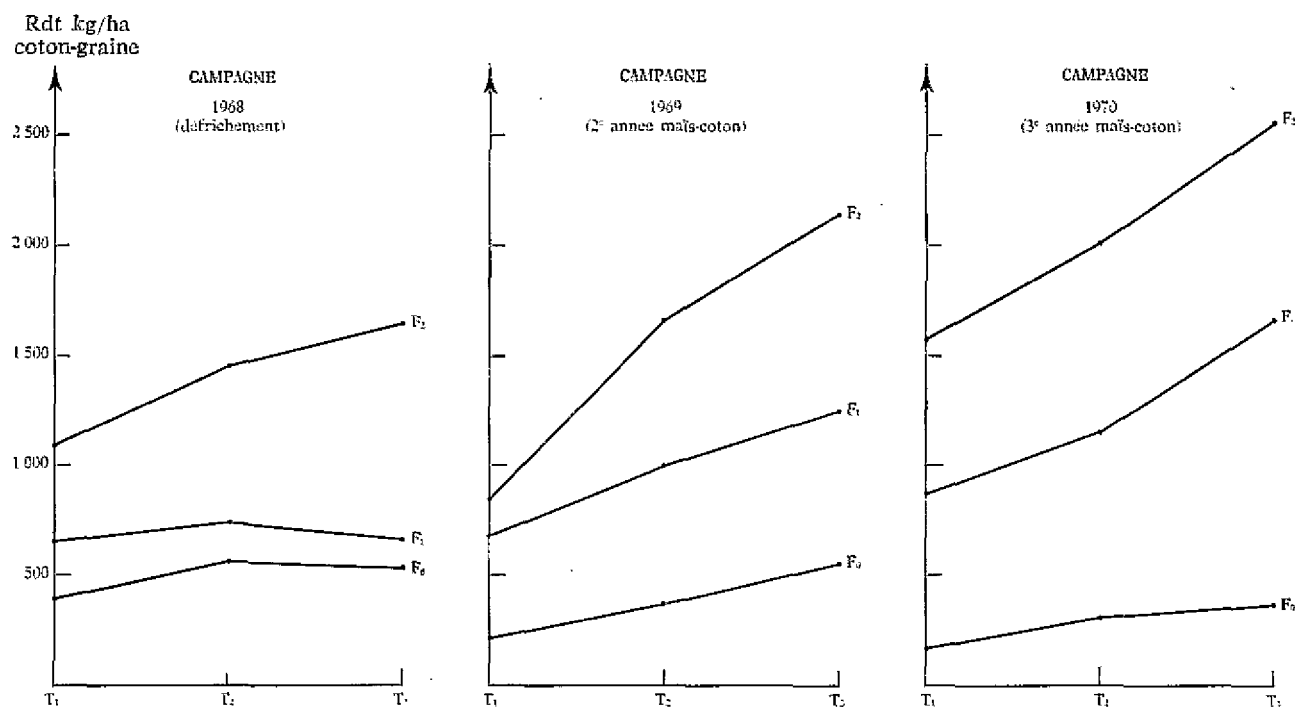


Fig. 2 b. — Essai combiné traitements \times fumures (Cové 1968-1970) : évolution de l'effet des traitements selon le niveau de fumure au cours d'une rotation.

IMPORTANCE DES PERTES DUES AU PARASITISME SELON LE POTENTIEL DE PRODUCTION DE LA ZONE ÉCOLOGIQUE

La quantité de coton-graine représentant les dommages consécutifs à l'action des ravageurs, peut être estimée par différence entre le rendement obtenu sous protection poussée (T_3) et celui obtenu en non traité (T_1). De plus, on peut admettre que sous protection poussée (T_3), les différents niveaux de fumure donnent une bonne image de la variabilité de la production potentielle dans une situation écologique donnée. L'étude de l'évolution des pertes de récolte en fonction de ce potentiel de production, a été entreprise, toutes expériences confondues, à l'intérieur de chacune des trois grandes zones écologiques.

Dans les trois cas, le nuage des points (fig. 3) suggère l'ajustement à une droite. Les trois équations de régression obtenues sont les suivantes :

Nord :

$$Y (\text{pertes}) = -132,6 + 0,32 x$$

avec $r = 0,47^{**}$ et $n = 42$.

Centre :

$$Y (\text{pertes}) = -33,8 + 0,49 x$$

avec $r = 0,55^{**}$ et $n = 33$.

Sud :

$$Y (\text{pertes}) = -187,6 + 0,44 x$$

avec $r = 0,67^{**}$ et $n = 30$.

D'une façon générale, l'importance des pertes dues au parasitisme croît en valeur absolue avec le niveau du potentiel de production.

En valeur relative, les pertes moyennes observées s'élèvent à 25 % dans le Nord, 46 % dans le Centre et 28 % dans le Sud ; les taux de pertes sont plus élevés dans la zone Centre que dans les zones Sud et Nord, et les potentiels de production décroissent du Nord au Sud.

Ces différentes régressions permettent aussi d'évaluer, pour la période étudiée, l'importance relative moyenne des pertes causées par le parasitisme, selon le niveau du potentiel de production (pertes exprimées en % de ce potentiel) :

Potentiel de production kg/ha	Pertes dues au parasitisme (en %)		
	Zone Nord	Zone Centre	Zone Sud
1 000	18,7	45,6	25,2
1 500	23,2	46,8	31,5
2 000	25,4	47,3	34,6
2 500	26,7	47,7	36,5

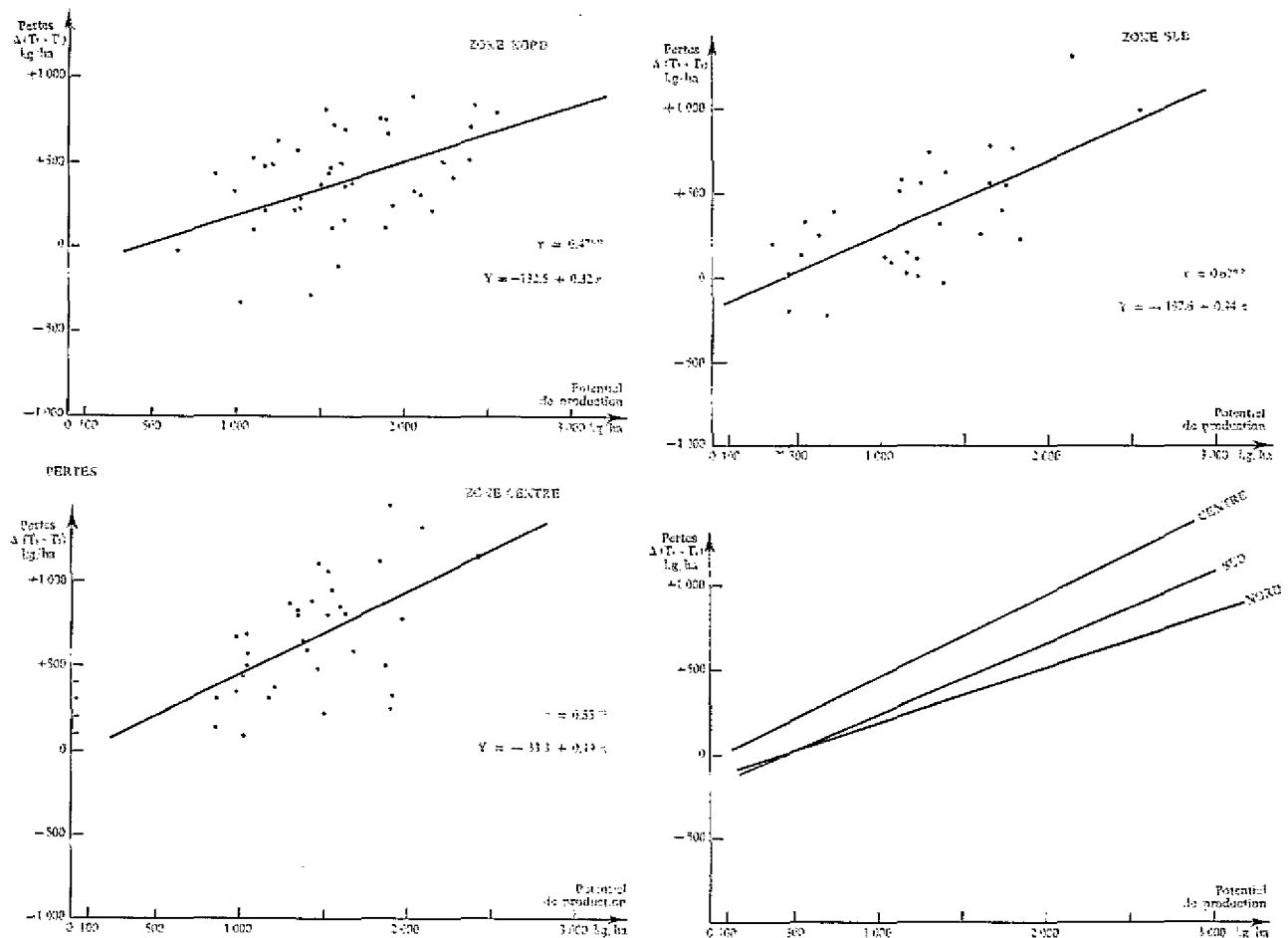


Fig. 3. — Pertes de récolte dues au parasitisme, selon le potentiel de production et la zone écologique (Bénin 1968-1972).

CONCLUSIONS

D'une façon générale, la fumure a une action linéaire jusqu'au niveau standard, puis un effet quadratique aux doses fortes dans le Nord et le Centre, et ceci quel que soit le niveau de protection insecticide.

Par contre, cet effet quadratique ne s'observe pas dans le Sud, sur « terres de barre » dégradées, où la réponse, dans le cadre de cette expérimentation, reste linéaire avec de fortes pentes.

Les traitements insecticides ont en général un effet linéaire, dans toutes les zones, mais avec des pentes fortes dans le Centre et des pentes plus faibles dans le Sud et le Nord.

L'interaction traitements \times fumures est significative dans le Sud et surtout dans le Centre. Par contre, elle ne l'est pas dans le Nord, où les effets sont simplement additifs; ce qui signifie que l'effet quadratique de la fertilisation minérale, observé dans cette région, est indépendant du niveau de protection phytosanitaire et que son explication doit être cherchée ailleurs.

Ces conclusions générales doivent cependant être nuancées du fait de l'extrême variabilité du milieu qui entraîne, surtout dans le Nord et le Centre, des interactions entre emplacements et traitements, et entre emplacements et fumures, sans parler des interactions probables avec l'année, qu'il n'est pas possible d'apprécier ici.

Les plus fortes productions avec le minimum de technicité peuvent être obtenues dans la zone Nord, en agissant simultanément sur les fumures et sur les traitements insecticides, sans qu'il soit souhaitable de dépasser les niveaux d'intensification actuellement recommandés.

Dans la zone Centre, la réponse aux traitements est prédominante, et il est inutile de fertiliser le cotonnier au-delà du niveau standard recommandé; mais, pour atteindre un niveau de production proche de celui de la zone Nord, il faut un niveau de technicité beaucoup plus important.

Dans la zone Sud, au contraire, les problèmes de fertilisation sont primordiaux sur « terre de barre »

dégradée, et l'intérêt des traitements insecticides se trouve très limité tant que la fertilité des sols n'est pas redressée; pour atteindre des niveaux de production proches de ceux du Nord, cela implique donc des investissements élevés en engrais pendant plusieurs années.

L'effet quadratique des fumures fortes dans le Nord et le Centre s'explique en grande partie par l'évolution de la fertilité des sols sous culture intensive. En effet, au départ, la correction des déficiences majeures (P et N), lors de la mise en culture, entraînait des réponses linéaires très spectaculaires jusqu'à des doses d'engrais très élevées. Une fois ces déficiences majeures corrigées, l'exploitation intensive des sols avec fertilisation minérale seule, fait apparaître de nouveaux facteurs limitants nutritionnels (B, K, Mg), qui freinent d'autant plus la réponse aux engrais que les doses de P et N appliquées sont élevées. Les essais des zones Nord et Centre réalisés sur des sols cultivés depuis plus de dix ans avec des systèmes de culture au bilan minéral déficitaire en cations

étaient placés dans ces conditions. C'est pourquoi dans le Nord, l'intensification des traitements est incapable d'améliorer la réponse aux engrais, dont l'effet quadratique est à mettre en relation avec un problème d'évolution de la fertilité chimique des sols.

Par contre, dans le Sud, où la fertilité initiale est très faible sur « terre de barre » dégradée, du fait essentiellement de la déficience potassique, l'effet de la fumure est spectaculaire, par suite du redressement des déficiences en éléments majeurs, apporté par cette fertilisation. L'essai de Cové, suivi sur trois ans, illustre bien ce fait, et montre que ce redressement est un préliminaire indispensable pour valoriser correctement la protection phytosanitaire.

L'étude de l'évolution des pertes de récolte causées par le parasitisme en fonction du potentiel de production montre que les pertes croissent avec le niveau de ce potentiel, tant en valeur absolue qu'en valeur relative. L'importance moyenne de ces pertes varie aussi, selon la zone écologique, de 25-30 % dans le Nord et le Sud, à 46 % dans le Centre.

BIBLIOGRAPHIE

1. DAESCHNER M., P. FAGLA, A. JOLY, P. RICHARD, G. SOUBRIER, A. TANGUY et C. THEVIN, 1968-1972. — Rapports annuels des Sections d'expérimentation de l'I.R.C.T. au Bénin. Documents I.R.C.T. non publiés.
2. SOUBRIER G. et A. TANGUY, 1970. — Les essais combinés traitements \times fumures en culture cotonnière. *Comm. Colloque phytosan. I.R.C.T.*
3. SNEDECOR et COCHRAN, 1971. — Méthodes statistiques. A.C.T.A. Paris.
4. DAGNELIE P., 1970. — Théorie et méthodes statistiques. Presses Agronomiques de Gembloux, 362 p.
5. DELATTRE R. et L. RICHARD, 1966. — Rapports de mission en El Salvador. Documents I.R.C.T. non publiés.
6. ATGER P. et L. BRADER, 1969. — Rapport annuel de la Section d'entomologie de Bébedjia (Tchad). Documents I.R.C.T. non publiés.

SUMMARY

The results of thirty-five combined "treatment and fertiliser" trials, carried out on cotton in Benin reveal great variability in response to the conjugated action of mineral fertilisation and insecticide treatment, according to various ecological zones. On the average, a quadratic effect of the mineral fertiliser is observed in the North and Centre of the country, whereas in the South, the response is linear and very marked. Insecticide treatment has linear action everywhere, but the slope is definitely more accentuated in the central zone.

A "treatment \times fertiliser" interaction is also found

in the Centre and the South, whereas this is not so in the North.

A study of the development of the response curves during one rotation in the South indicates that the re-establishment of the chemical fertility of clayey soils is an essential preliminary to making the most of phytosanitary protection.

During these trials, harvest losses due to parasitism increase with the production potential and their average rate is definitely higher in the central zone.

RESUMEN

El balance de las 35 pruebas combinadas « aplicaciones de insecticida \times fertilización » realizadas con el algodón en Benin, evidencia una variabilidad importante de la respuesta según las diferentes zonas ecológicas. Se observa, por término medio, un efecto cuadrático de la fertilización mineral en el Norte y en el Centro, mientras que en el Sur la respuesta es lineal y muy fuerte. Los tratamientos insecticidas tienen, en todas partes, una acción lineal, pero con una pendiente claramente más acentuada en la zona Centro.

Una interacción « aplicaciones de insecticida \times fer-

tilización » se manifiesta también en el Centro y en el Sur, mientras que no aparece en el Norte.

El estudio de la evolución de las curvas de respuesta durante una rotación, en el Sur, indica que la rectificación de la fertilidad química de las « tierras de barra » es un preliminar indispensable para la valoración de la protección de los cultivos.

En estas pruebas, las pérdidas de cosecha debidas al parasitismo aumentan en función del potencial de producción y su porcentaje promedio es claramente más elevado en la zona Centro.